

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 08-031734

(43)Date of publication of application : 02.02.1996

(51)Int.Cl.

H01L 21/027

G03B 27/72

G03F 7/20

(21)Application number : 06-188968

(71)Applicant : SONY CORP

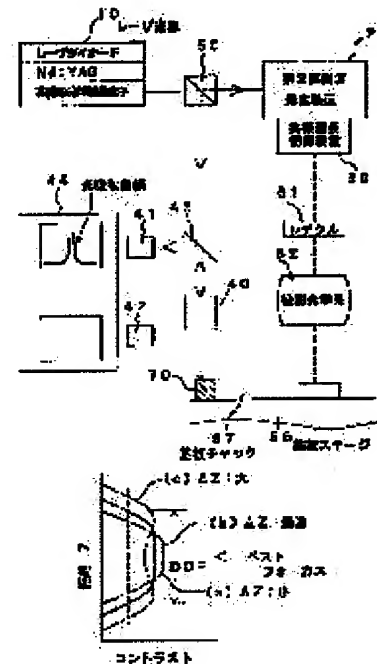
(22)Date of filing : 19.07.1994

(72)Inventor : UEMATSU MASAYA

**(54) SEMICONDUCTOR EXPOSURE DEVICE AND OPTIMIZING METHOD OF MULTIPLE IMAGERY EXPOSURE METHOD****(57)Abstract:**

**PURPOSE:** To obtain the optimum value of an FLEX step automatically by optically observing a pattern latent image formed to a photochromic material acquired by irradiating a reticle with light from a light source for a projection optical system.

**CONSTITUTION:** Light sources 10, 20 for a projection optical system, the projection optical system 62 for forming an optical image obtained by irradiating a reticle 61 with light from the light sources 10, 20 for the projection optical system onto a substrate, and a substrate stage 66, on which the substrate is placed, are provided. A photochromic material 70 arranged on the substrate stage 66 and a latent-image detection system for optically observing a pattern latent image acquired by irradiating the reticle 61 with light from the light sources for the projection optical system and formed on the photochromic material 70 are provided. The pattern latent image is observed optically, thus automatically obtaining the optimum value of an FLEX step  $\Delta Z$ .



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平8-31734

(43) 公開日 平成8年(1996)2月2日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

識別記号

序内整理番号

F I

技術表示箇所

H 0 1 L 21/027

G 0 3 B 27/72

G 0 3 F 7/20

Z

5 2 1

H 0 1 L 21/30

5 2 5 C

5 2 5 N

審査請求 未請求 請求項の数9 F D (全19頁)

(21) 出願番号

特願平6-188968

(22) 出願日

平成6年(1994)7月19日

(71) 出願人 000002185

ソニー株式会社

東京都品川区北品川6丁目7番35号

(72) 発明者 植松 政也

東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内

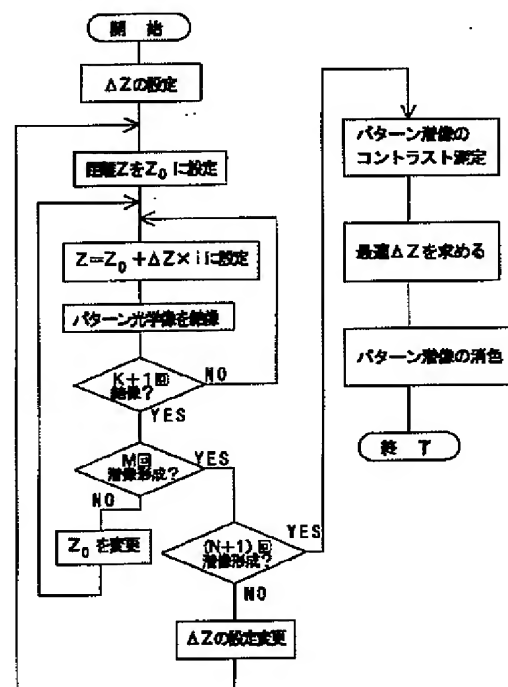
(74) 代理人 弁理士 山本 孝久

(54) 【発明の名称】 半導体露光装置及び多重結像露光法の最適化法

(57) 【要約】

【目的】 F L E X ステップ  $\Delta Z$  の最適値を自動的に求め得る多重結像露光法の最適化法を提供する。

【構成】 多重結像露光法の最適化法は、(イ) 投影光学系から基板ステージ上に配置されたフォトリソミック材料までの距離初期値を  $Z_0$  とし、投影光学系からかかるフォトリソミック材料までの距離  $Z$  を  $Z_0 + \Delta Z \times i$  (但し、 $i = 0, 1, 2, \dots, K$ ) に変えて、レチクルのパターン光学像をフォトリソミック材料に ( $K+1$ ) 回結像させる多重結像露光法によってフォトリソミック材料へパターンの潜像を形成する工程を、 $\Delta Z$  の値を一定として、距離初期値  $Z_0$  の値を変化させて  $M$  回繰り返し、 $M$  個のパターン潜像を形成し、(ロ) 前記(イ)の工程を  $\Delta Z$  を変えて  $N$  回繰り返し、 $M \times (N+1)$  個のパターン潜像を形成し、(ハ)  $M \times (N+1)$  個のパターン潜像を光学的に観察し、その結果に基づき最適な  $\Delta Z$  の値を求める。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 (イ) 投影光学系用光源と、

(ロ) 投影光学系用光源からの光をレチクルに照射することによって得られる光学像を基板に結像させるための投影光学系と、

(ハ) 基板を載置する基板ステージと、

(ニ) 基板ステージ上に配置されたフォトリソミック材料、

(ホ) 投影光学系用光源からの光をレチクルに照射することによって得られたフォトリソミック材料に形成されたパターン潜像を光学的に観察するための潜像検出系、を具備したことを特徴とする半導体露光装置。

【請求項 2】 投影光学系用光源は、レーザ光源、並びに該レーザ光源から射出された光が入射されそして該光の第 2 高調波に基づいた波長を有する光を射出する第 2 高調波発生装置から成り、

該レーザ光源は、潜像検出系用光源及びパターン潜像を消色するための消色用光源を兼ねていることを特徴とする請求項 1 に記載の半導体露光装置。

【請求項 3】 レーザ光源は、レーザダイオード、Nd:YAG から成る固体レーザ媒質及び非線形光学結晶素子から構成された LD 励起固体レーザから成り、非線形光学結晶素子から射出された光を潜像検出系用光源及び消色用光源として用いることを特徴とする請求項 2 に記載の半導体露光装置。

【請求項 4】 レーザ光源は、レーザダイオード、Nd:YAG から成る固体レーザ媒質及び非線形光学結晶素子から構成された LD 励起固体レーザから成り、レーザダイオードから射出された光を潜像検出系用光源及び消色用光源として用いることを特徴とする請求項 2 に記載の半導体露光装置。

【請求項 5】 投影光学系用光源は、レーザ光源、並びに該レーザ光源から射出された光が入射されそして該光の第 2 高調波に基づいた波長を有する光を射出する第 2 高調波発生装置から成り、

第 2 高調波発生装置から射出された光から長波長成分を有する光を分光するバンドパスフィルターを更に備え、かかる長波長成分を有する光を、潜像検出系用光源及びパターン潜像を消色するための消色用光源として用いることを特徴とする請求項 1 に記載の半導体露光装置。

【請求項 6】 前記潜像検出系は、オフアキシス・アライメント検出系を兼用していることを特徴とする請求項 1 乃至請求項 5 のいずれか 1 項に記載の半導体露光装置。

【請求項 7】 (イ) 投影光学系から基板ステージ上に配置されたフォトリソミック材料までの距離初期値を  $Z_0$  とし、投影光学系から基板ステージ上に配置されたフォトリソミック材料までの距離  $Z$  を  $Z_0 + \Delta Z \times i$  (但し、 $i = 0, 1, 2, \dots, K$ ) に順次変えて、パターンが形成されたレチクルに投影光学系用光源からの光を照射して得られたパターン光学像を投影光学系を介し

てフォトリソミック材料に  $(K+1)$  回結像させる多重結像露光法によってフォトリソミック材料へパターンの潜像を形成する工程を、 $\Delta Z$  の値を一定として、距離初期値  $Z_0$  の値を変化させて  $M$  回繰り返して、 $Z$  の値が異なる  $M$  個のパターン潜像を形成し、

(ロ) 前記工程 (イ) を、 $\Delta Z$  の値を変えて  $N$  回繰り返して、最終的に  $M \times (N+1)$  個のパターン潜像を形成し、

(ハ) 得られたパターン潜像を光学的に観察し、

(ニ) 該パターン潜像観察結果に基づき最適な  $\Delta Z$  の値を求める、各工程から成ることを特徴とする多重結像露光法の最適化法。

【請求項 8】 フォトリソミック材料に形成されたパターン潜像に消色用光源からの光を照射することによってパターン潜像を消色する工程を更に含むことを特徴とする請求項 7 に記載の多重結像露光法の最適化法。

【請求項 9】 パターン潜像の光学的な観察はパターン潜像のコントラストの測定から成り、オフアキシス・アライメント検出系を用いて行うことを特徴とする請求項 7 又は請求項 8 に記載の多重結像露光法の最適化法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、大きな焦点深度を付与するための所謂多重結像露光法 (FLEX 法、Focus Latitude Enhancement Exposure 法) を最適化する機構、より詳しくは、多重結像露光法における FLEX ステップを自動的に最適化する機構を有する半導体露光装置、並びにかかる半導体露光装置を用いた多重結像露光法の最適化法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】 半導体露光装置においては、レジストの露光に用いる光の波長を  $\lambda$ 、レンズの開口数を  $NA$  としたとき、解像度及び焦点深度  $DOF$  は、以下の式で表わされる。

$$\text{解像度} = k_1 \lambda / NA \quad \text{式 (1)}$$

$$DOF = k_2 \lambda / NA^2 \quad \text{式 (2)}$$

ここで  $k_1$ 、 $k_2$  は半導体露光装置に依存した定数である。

【0003】 従来の半導体露光装置においては、半導体集積回路の集積度を高めるために、式 (1) から明らかなように、短波長の露光光源を使用する必要がある。この露光光源として、例えば超高压水銀アークランプやエキシマ・レーザを挙げることができる。

【0004】 従来の露光光源においては、射出される露光光の波長は一定であり、単焦点であるため、波長  $\lambda$  が短くなるに従い、式 (2) にて求められる焦点深度が十分でなくなっている。そのため、段差を有するような領域 (例えば、コンタクトホール部) 上のレジストにパターンを焼き付ける場合、十分な解像度を得ることが困難になりつつある。

【0005】このような焦点深度の問題を解決するための一手段に多重結像露光法がある。この多重結像露光法の概要を、以下、簡単に説明する。通常、レチクルに形成されたパターンを縮小投影光学系（縮小投影レンズ等）を用いて、ウエハステージに載置されたウエハ上に形成されたレジストに転写する。この際、多重結像露光法においては、ウエハ上に形成されたレジストと縮小投影光学系との間の距離を変えて、最低2回露光を行う。ウエハ上に形成されたレジストと縮小投影光学系との間の距離（ $z$ ）は、ウエハステージを $Z$ 軸方向に移動させることで変化させることができる。

【0006】このような多重結像露光法によって得られるレジストの厚さ方向の光強度分布を模式的に図14及び図15に示す。ウエハ上に形成されたレジストと縮小投影光学系との間の距離が $z$ の場合の露光によって、図14の左側の（a）のような光強度分布が得られる。また、ウエハ上に形成されたレジストと縮小投影光学系との間の距離を $z - \Delta Z$ （あるいは $z + \Delta Z$ ）に変化させて露光することによって、図14の中央の（b）のような光強度分布が得られる。尚、多重結像露光法において、このように、ウエハ上に形成されたレジストと縮小投影光学系との間の距離を各露光毎に変化させるが、このような距離の変化量をFLEXステップと呼び、以下、 $\Delta Z$ で示す。

【0007】このような2回の露光の結果、図14の右側の（c）に示すような、レジストの厚さ方向の光強度分布を得ることができる。図14の（c）に示した光強度分布のピークを結んだ光強度分布を図15の（A）に示す。このような最低2回の露光を行うことによって、通常の1回の露光と比較して光強度のピークコントラストは低下するものの、焦点深度DOFの値を大きくすることが可能になる。尚、露光回数は2回に限定されず、最適焦点深度及びピークコントラストを得るように、適

パターンサイズ	パターン密度
0.4 $\mu\text{m}$	1:2
0.32 $\mu\text{m}$	1:2
0.32 $\mu\text{m}$	1:1.7

【0011】上記の表からも明らかなように、パターンサイズ及びパターン密度が変化すると、FLEXステップ $\Delta Z$ の最適値も変化する。従って、従来の技術においては、パターンサイズ及びパターン密度が変化する度に、FLEXステップ $\Delta Z$ の値を変化させて、実際にパターンをウエハ上に形成されたレジストに焼き付け、かかる焼き付けられたパターンの測長を例えば測長SEMを用いて行い、FLEXステップ $\Delta Z$ の最適値を求めるといった煩雑な作業を行わなければならなかった。

【0012】従って、本発明の目的は、大きな焦点深度を付与するための所謂多重結像露光法の最適化を行うのに適した、FLEXステップ $\Delta Z$ の最適値を自動的に求め得る一種の自己診断機構を有する半導体露光装置、並び

宜変更することができる。尚、 $k$ 回の露光の場合には、ウエハ上に形成されたレジストと縮小投影光学系との間の距離を、例えば、 $z$ 、 $z + \Delta Z$ 、 $z + 2\Delta Z$ 、 $\dots$ 、 $z + k\Delta Z$ に変化させる。

【0008】このような多重結像露光法は焦点深度の値を大きくする効果的な方法である。そして、FLEXステップ $\Delta Z$ の値を最適化することが重要である。もしもFLEXステップ $\Delta Z$ の値が大きすぎると、図15の（B）に示すように、ベストフォーカス付近におけるコントラストが低下する。一方、FLEXステップ $\Delta Z$ の値が小さすぎると、図15の（C）に示すように、焦点深度DOFが狭くなる。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】多重結像露光法を採用する上での問題点は、レジストに形成すべきパターンサイズ及びパターン密度に依存して、FLEXステップ $\Delta Z$ の最適値が変化する点にある。パターンサイズ0.4  $\mu\text{m}$ 、パターン密度1:2において、FLEXステップ $\Delta Z$ を種々変化させて露光したときのベストフォーカスからの距離のずれと露光されたレジストにおけるパターンサイズの関係を、図16に示す。また、パターンサイズ0.32  $\mu\text{m}$ 、パターン密度1:2、及び、パターンサイズ0.32  $\mu\text{m}$ 、パターン密度1:1.7における同様の関係を図17及び図18に示す。更に、図16～図18から求めた、それぞれの条件におけるFLEXステップ $\Delta Z$ の最適値を下表に示す。尚、パターンサイズとは、ウエハ上に形成されたレジストに形成されるパターンの大きさ（幅）を意味し、パターン密度とは、レジストに形成されたパターンの大きさ（幅）と、パターンとパターンとの間のスペースの大きさ（幅）の比を意味する。

【0010】

FLEXステップ $\Delta Z$ の最適値

2.4 $\mu\text{m}$
1.8 $\mu\text{m}$
2.4 $\mu\text{m}$

にかかる半導体露光装置を用いた多重結像露光法の最適化法を提供することにある。

【0013】

【課題を解決するための手段】上記の目的を達成するための本発明の半導体露光装置は、（イ）投影光学系用光源と、（ロ）投影光学系用光源からの光をレチクルに照射することによって得られる光学像を基板に結像させるための投影光学系と、（ハ）基板を載置する基板ステージと、（ニ）基板ステージ上に配置されたフォトリソミック材料、（ホ）投影光学系用光源からの光をレチクルに照射することによって得られたフォトリソミック材料に形成されたパターン潜像を光学的に観察するための潜像検出系、を具備したことを特徴とする。

【0014】本発明の半導体露光装置においては、投影光学系用光源は、レーザ光源、並びにこのレーザ光源から射出された光が入射されそしてこの光の第2高調波に基づいた波長を有する光を射出する第2高調波発生装置から成り、レーザ光源は、潜像検出系用光源及びパターン潜像を消色するための消色用光源を兼ねていることが好ましい。この場合、レーザ光源は、レーザダイオード、Nd:YAGから成る固体レーザ媒質及び非線形光学結晶素子から構成されたLD励起固体レーザから成り、非線形光学結晶素子から射出された光を潜像検出系用光源及び消色用光源として用いることができる。あるいは又、レーザ光源は、レーザダイオード、Nd:YAGから成る固体レーザ媒質及び非線形光学結晶素子から構成されたLD励起固体レーザから成り、レーザダイオードから射出された光を潜像検出系用光源及び消色用光源として用いることができる。

【0015】あるいは又、本発明の半導体露光装置においては、投影光学系用光源は、レーザ光源、並びにこのレーザ光源から射出された光が入射されそしてこの光の第2高調波に基づいた波長を有する光を射出する第2高調波発生装置から成り、第2高調波発生装置から射出された光から長波長成分を有する光を分光するバンドパスフィルターを更に備え、かかる長波長成分を有する光を潜像検出系用光源及び消色用光源として用いることが好ましい。

【0016】本発明の半導体露光装置においては、潜像検出系と、オフアクシス・アライメント検出系とを兼用させることができる。この場合、投影光学系用光源からの光をオフアクシス・アライメント検出系を通してフォトクロミック材料に照射することが望ましい。

【0017】上記の目的を達成するための本発明の多重結像露光法の最適化法は、(イ)投影光学系から基板ステージ上に配置されたフォトクロミック材料までの距離初期値を $Z_0$ とし、投影光学系から基板ステージ上に配置されたフォトクロミック材料までの距離 $Z$ を $Z_0 + \Delta Z \times i$  (但し、 $i = 0, 1, 2, \dots, K$ ) に順次変えて、パターンが形成されたレチクルに投影光学系用光源からの光を照射して得られたパターン光学像を投影光学系を介してフォトクロミック材料に $(K+1)$ 回結像させる多重結像露光法によってフォトクロミック材料へパターンの潜像を形成する工程を、 $\Delta Z$ の値を一定として、距離初期値 $Z_0$ の値を変化させて $M$ 回繰り返し、 $Z$ の値が異なる $M$ 個のパターン潜像を形成し、(ロ)前記工程(イ)を、 $\Delta Z$ の値を変えて $N$ 回繰り返し、最終的に $M \times (N+1)$ 個のパターン潜像を形成し、(ハ)得られたパターン潜像を光学的に観察し、(ニ)このパターン潜像観察結果に基づき最適な $\Delta Z$ の値を求める、各工程から成ることを特徴とする。

【0018】本発明の多重結像露光法の最適化法においては、フォトクロミック材料に形成されたパターン潜像

に消色用光源からの光を照射することによってパターン潜像を消色する工程を更に含むことができる。また、パターン潜像の光学的な観察はパターン潜像のコントラストの測定から成り、オフアクシス・アライメント検出系を用いて行うことができる。

【0019】

【作用】本発明においては、投影光学系用光源からの光をレチクルに照射することによって得られるフォトクロミック材料に形成されたパターン潜像を光学的に観察することによって、FLEXステップ $\Delta Z$ の最適値を自動的に求めることができる。それ故、レチクルの交換等によってレジストに形成すべきパターンサイズ及びパターン密度が変化した場合でも、従来技術のような時間、労力、費用を費やすことなく、容易に且つ短時間で多重結像露光法におけるFLEXステップ $\Delta Z$ の最適化を図ることができる。また、パターン潜像が形成されたフォトクロミック材料を消色することによって、多重結像露光法の最適化法を繰り返し実行することができる。尚、本発明の半導体露光装置の好ましい態様においては、投影光学系用光源が潜像検出系用光源や消色用光源を兼ねているので、半導体露光装置の構造を簡素化することができる。

【0020】

【実施例】以下、図面を参照して、実施例に基づき本発明を説明する。

【0021】(実施例1) 実施例1の半導体露光装置は、図1、図2、図3及び図9に概念図を示すように、投影光学系用光源10、20と、投影光学系用光源10、20からの光をレチクル61に照射することによって得られる光学像を基板64に結像させるための投影光学系62と、基板64を載置する基板ステージ66とを具備している。更に、基板ステージ66上に配置されたフォトクロミック材料70と、投影光学系用光源からの光をレチクル61に照射することによって得られた、フォトクロミック材料70に形成されたパターン潜像を光学的に観察するための潜像検出系を具備している。尚、実施例1においては、更に、フォトクロミック材料70に形成されたパターン潜像を消色するための消色用光源が備えられており、投影光学系用光源が、潜像検出系用光源及び消色用光源を兼ねている。また、パターン潜像を光学的に観察するための(具体的にはパターン潜像のコントラストを測定するための)潜像検出系は、オフアクシス・アライメント検出系を兼用している。

【0022】フォトクロミック材料70に形成されるパターン潜像は、例えば回路パターンの一部から成る。そして、図1に示すように、投影光学系用光源10、20からの光を回路パターンが形成されたレチクル61の一部分に照射して得られた回路パターン光学像を投影光学系62によってフォトクロミック材料70に結像させる。これによって、フォトクロミック材料70にパター

ン潜像を形成することができる。尚、レチクル 61 にテスト用パターンを形成しておいてもよい。パターン潜像の形成に関しては後述する。

【0023】フォトリソミック材料 70 は、例えばスピロピラン系材料から成り、基板チャック 67 の近傍の基板ステージ 66 の表面に蒸着法若しくはスパッタ法にて形成することができる。フォトリソミック材料 70 の表面を PVA あるいはガラス板にて被覆し、フォトリソミック材料 70 を保護することが望ましい。

【0024】投影光学系用光源は、図 11 に模式図を示すように、例えば、レーザ光源 10、並びにこのレーザ光源 10 から射出された光が入射されそしてこの入射光の第 2 高調波に基づいた波長を有する光を射出する第 2 高調波発生装置 20 から成る。レーザ光源 10 は、レーザダイオード 11、Nd:YAG から成る固体レーザ媒質 12 及び非線形光学結晶素子 13 から構成された LD 励起固体レーザから成る。また、第 2 高調波発生装置 20 は、非線形光学結晶素子 21、光共振器 22 及び共振器長制御装置 30 から成る。これらのレーザ光源 10、第 2 高調波発生装置 20 及び共振器長制御装置 30 の詳細については後述する。

【0025】実施例 1 においては、投影光学系用光源を構成するレーザ光源 10 が、潜像検出系用光源及び消色用光源を兼ねており、レーザ光源 10 (より具体的には、非線形光学結晶素子 13) から射出された光が、パターン潜像の光学的な観察並びにフォトリソミック材料 70 の消色のために用いられる。レーザ光源 10 は、更に、オフアキシス・アライメント検出系光源をも兼ねている。

【0026】潜像検出系を兼用しているオフアキシス・アライメント検出系は、図 10 に示すように、アライメント顕微鏡 40、0 次の回折光を検出する第 1 の光検出器 41、±1 次の回折光を検出する第 2 の光検出器 42、基板 64 に形成されたアライメントマーク 65 で反射された 0 次の回折光を第 1 の光検出器 41 に入射させるためのハーフミラー 43、光検出器 41、42 からの信号出力を処理する信号処理装置 44 から構成されている。アライメント顕微鏡 40 は、小さな開口数 NA を有する通常の光学顕微鏡である。オフアキシス・アライメント検出系用の照明光は、レーザ光源 10 (具体的には、非線形光学結晶素子 13) から射出された光を光路分割手段 50 で分割することによって得ることができる。

【0027】尚、オフアキシス・アライメント検出系には、例えば多面回転ミラー (ポリゴンミラー) (図示せず) が設けられており、光路分割手段 50 から分割された光がスキャンされるようになっている。即ち、レーザ光源 10 から射出されそして光路分割手段 50 にて分割されたオフアキシス・アライメント検出系用の照明光は、多面回転ミラーを介して、ハーフミラー 43、ア

ライメント顕微鏡 40 を通過し、レジスト 63 及びアライメントマーク 65 が形成された基板 64 を一定速度で照射・スキャンする。アライメントマーク 65 で回折、散乱、屈折反射した光を、第 1 及び第 2 の光検出器 41、42 で検出する。

【0028】フォトリソミック材料 70 には、多重結像露光法の最適化法におけるパターン潜像形成工程 (詳細は後述する) において、パターン潜像が形成される。また、実施例 1 の半導体露光装置においては、図 2 及び図 3 に示すように、レーザ光源 10 (より具体的には、非線形光学結晶素子 13) から射出された光によって、フォトリソミック材料 70 に形成されたパターン潜像を光学的に観察し、あるいはパターン潜像を消色する。具体的には、図 2 及び図 3 に示すように、レーザ光源 10 から射出され、ビームスプリッターあるいはハーフミラー 50、ハーフミラー 43、アライメント顕微鏡 40 を透過した光によって、基板ステージ 66 上に配置されたフォトリソミック材料 70 を照射し、これによって、フォトリソミック材料 70 に形成されたパターン潜像を光学的に観察し、あるいはパターン潜像を消色する。

【0029】以下、図 1、図 2 及び図 4 を参照して、本発明の多重結像露光法の最適化法、より具体的には多重結像露光法における FLEX ステップ ΔZ の最適化法について説明する。尚、この FLEX ステップ ΔZ の最適化法のフロー図を図 6 に示す。

【0030】[パターン潜像形成工程-1] 先ず、図 1 に示すように、投影光学系 62 から基板ステージ 66 上に配置されたフォトリソミック材料 70 までの距離初期値を  $Z_0$  とする。そして、投影光学系 62 から基板ステージ 66 上に配置されたフォトリソミック材料 70 までの距離  $Z$  を  $Z_0 + \Delta Z \times i$  (但し、 $i = 0, 1, 2, \dots, K$ ) に順次変えて、パターンが形成されたレチクル 61 に投影光学系用光源 10、20 からの光を照射する。これによって得られたパターン光学像を投影光学系 62 を介してフォトリソミック材料に  $(K+1)$  回結像させる多重結像露光法によって、フォトリソミック材料 70 へパターンの潜像を形成する。このようなパターン潜像形成工程を、 $\Delta Z$  の値を一定として、距離初期値  $Z_0$  の値を変化させて  $M$  回繰り返す、 $Z$  の値が異なる  $M$  個のパターン潜像を形成する。ここで、 $\Delta Z$  が FLEX ステップである。距離  $Z$  の変更は、基板ステージ 66 を  $Z$  軸方向に移動させることで行うことができる。

【0031】実施例 1 においては、 $K=1$ 、 $M=21$  とした。即ち、投影光学系 62 から基板ステージ 66 上に配置されたフォトリソミック材料 70 までの距離  $Z$  を、 $Z_0$  及び  $Z_0 + \Delta Z$  に順次変えて、フォトリソミック材料に  $(K+1) = 2$  回、パターン光学像を結像させて、フォトリソミック材料 70 へパターン潜像を形成する。そして、 $\Delta Z$  の値を一定 (例えば  $\Delta Z = 2.0 \mu\text{m}$ ) とし、距離初期値  $Z_0$  の値を例えば  $0.2 \mu\text{m}$  刻みで変化



させて、上記のパターン潜像形成工程を $M=21$ 回繰り返し、 $Z$ の値が異なる $M=21$ 個のパターン潜像を形成した。尚、この際、基板ステージ66を(X, Y)方向に適宜移動して、フォトリソミック材料70におけるパターン潜像形成位置を変えた。

【0032】フォトリソミック材料70に投影光学系用光源からの光を照射してパターン潜像を形成すると、図4に模式的に示すように、パターン潜像が形成された部分のフォトリソミック材料70の光吸収特性は、短波長領域に吸収ピークを有する特性(図4に(a)で示す)から、長波長領域に吸収ピークを有する特性(図4に(b)で示す)に変化する。

【0033】[パターン潜像形成工程-2]次に、[パターン潜像形成工程-1]を、 $\Delta Z$ を0.2 $\mu\text{m}$ 刻みで変えて $N$ 回(実施例1においては、 $N=2$ )繰り返し、最終的に $M \times (N+1)$ 個=63個のパターン潜像を形成した。尚、[パターン潜像形成工程-1]の繰り返しの際、距離初期値 $Z_0$ の値や変化量は常に同じでなくともよいし、 $M$ や $K$ の値を代えてもよい。

【0034】[パターン潜像のコントラスト測定工程]次に、得られた $M \times (N+1)$ 個のパターン潜像の光学的な観察を行う。具体的には、潜像検出系を兼用するオフアキシス・アライメント検出系を用いて、パターン潜像のコントラストの測定を行う(図2参照)。そのために、先ず、フォトリソミック材料70に形成されたパターン潜像がアライメント顕微鏡40の直下に位置するように、基板ステージ66を移動させる。そして、フォトリソミック材料70に形成されたパターン潜像のコントラストをオフアキシス・アライメント検出系を用いて測定する。即ち、レーザ光源10から射出されそして光路分割手段50にて分割され、多面回転ミラーを介して、ハーフミラー43及びアライメント顕微鏡40を通過した光(この光は、オフアキシス・アライメント検出系の照明光と同等である)で、フォトリソミック材料70のパターン潜像を照射・スキャンする。パターン潜像が形成されたフォトリソミック材料70の領域にて反射された光は、アライメント顕微鏡40及びハーフミラー43を経由して、CCDカメラから成る第1の光検出器41に入射する。

【0035】第1の光検出器41からの信号出力は信号処理装置44によって信号処理され、図4に(b)にて示したフォトリソミック材料70の光吸収曲線、即ちコントラストを得ることができる。

【0036】例えば基板ステージ66を $Z$ 方向に移動させることによってアライメント顕微鏡40からフォトリソミック材料70までの距離を変えて、各パターン潜像に対して、最もシャープなコントラスト(最も高いピークを有する吸収曲線及び/又は最も狭い半値幅を有する吸収曲線)を有するフォトリソミック材料70の潜像が得られたときのコントラスト値(ピーク値)を決定す

る。このような操作を各パターン潜像に対して実行する。そして、 $\Delta Z$ の値毎に、投影光学系62から基板ステージ66上に配置されたフォトリソミック材料70までの距離 $Z$ をパラメータとして、コントラスト値(ピーク値)を結び、コントラストカーブを得る。このようなコントラストカーブを模式的に図5に示す。実施例1においては、 $N=2$ としたので、合計3本のコントラストカーブを得る。尚、このようなコントラストカーブの作成は小型コンピュータを用いて容易に行うことができる。

【0037】[最適FLEXステップ $\Delta Z$ の算出工程]その後、パターン潜像の光学的な観察結果(具体的には、パターン潜像のコントラスト測定結果)に基づき、多重結像露光法におけるFLEXステップ $\Delta Z$ の最適値を求める。

【0038】例えば、図5の曲線(c)に示すコントラストカーブは、FLEXステップ $\Delta Z$ の値が大きすぎるために、凹部が生じ、ピークが2つ存在する。従って、ベストフォーカス付近におけるコントラストが低下してしまい、このようなコントラストカーブを得たときのFLEXステップ $\Delta Z$ の値は最適値ではない。図5の曲線(a)に示すコントラストカーブは、FLEXステップ $\Delta Z$ の値が小さすぎるために、平坦部が狭い。即ち、焦点深度DOFの値が小さい。従って、このようなコントラストカーブを得たときのFLEXステップ $\Delta Z$ の値も最適値ではない。一方、図5の曲線(b)に示すコントラストカーブは、FLEXステップ $\Delta Z$ の値が最適であり、平坦部が広く、しかも凹部は存在しない。即ち、焦点深度DOFの値が大きく、しかもコントラストカーブが広い焦点深度領域に亘って平坦である。従って、このようなコントラストカーブを得たときのFLEXステップ $\Delta Z$ の値が最適値である。このようにして、FLEXステップ $\Delta Z$ の最適値を決定する。

【0039】[パターン潜像消色工程]以上の操作で、多重結像露光法の最適化が行われる。即ち、具体的には、FLEXステップ $\Delta Z$ の最適値が求まる。その後、フォトリソミック材料70に形成されたパターン潜像に消色用光源からの光を照射することによってパターン潜像を消色することが望ましい。実施例1の半導体露光装置においては、図3に示すように、消色用光源を兼ねたレーザ光源10(より具体的には、非線形光学結晶素子13)から射出された光を用いて、フォトリソミック材料70に形成されたパターン潜像を消色する。

【0040】即ち、レーザ光源10から射出され、ビームスプリッターあるいはハーフミラー50、ハーフミラー43、アライメント顕微鏡40を通過した光で、基板ステージ66上に配置されたフォトリソミック材料70を照射する。[パターン潜像のコントラスト測定工程]において、フォトリソミック材料70に形成されたパターン潜像のコントラストを測定する場合には、フォトリ

ロミック材料70へのレーザ光源10からの光の照射時間を短時間にする。こうすることによって、フォトリソミック材料70に形成されたパターン潜像が消色されることを防ぎ得る。フォトリソミック材料70に形成されたパターン潜像を消色する場合には、フォトリソミック材料70をレーザ光源10からの光に長時間晒せばよい。

【0041】以下、参考のために、レジスト露光工程及びオフアクシス・アライメント方式によるアライメント操作について、簡単に説明する。

【0042】レジスト露光工程においては、図9に示すように、レーザ光源10から射出された光は第2高調波発生装置20に入射される。第2高調波発生装置20は、この入射光の第2高調波に基づいた波長を有する光を射出する。第2高調波発生装置20から射出された光は、レチクル61を照射し、レチクル61に形成された回路パターン等を投影光学系（例えば、縮小投影レンズ）62を介して基板64上に形成されたレジスト63に転写する。レチクル61に形成されたパターンは、レジスト63上に形成すべきパターンが例えば5倍に拡大されたものである。投影光学系62は、入射した光を透過し、例えば1/5に縮小した光学像を基板64に形成されたレジスト63に投影する。これによって、レジスト63には微細な回路パターン等が形成される。尚、基板64は基板ステージ66に載置されている。

【0043】レジスト露光工程においては、[最適FLEXステップΔZの算出工程]にて求めたFLEXステップΔZの最適値を用いた多重結像露光法によって、レジストを露光する。即ち、基板64上に形成されたレジスト63と縮小投影光学系62との間の距離を $z$ として、レチクル61に形成された回路パターン等をレジスト63に焼き付ける。次に、基板64上に形成されたレジスト63と縮小投影光学系62との間の距離を $z-\Delta Z \times i$ （あるいは $z+\Delta Z \times i$ ）（但し、 $i=1, 2, \dots, k$ ）に順次変えて、レジスト露光を行う。これを $k$ 回繰り返す。

【0044】オフアクシス・アライメント方式によるアライメント操作においては、図10に示すように、レーザ光源10から射出したオフアクシス・アライメント検出系用の照明光によって、アライメントマーク65を照射する。そして、アライメントマーク65で回折、散乱、屈折反射した光を、第1及び第2の光検出器41、42で検出する。

【0045】この場合、0次の回折光を受光した第1の光検出器41からの出力信号を信号処理装置44で信号処理することによって、明視野像を得ることができる。この明視野像をCRTにて観察する。明視野像は、信号の重ね合わせ処理を行うことによって得ることができ、信号出力の平均化効果により再現性の良い像を得ることができるが、アライメントマーク検出分解能は低い。基

板64に形成されたグレーティングから成るアライメントマーク65からの±1次の回折光を受光した第2の光検出器42からの出力信号を信号処理装置44で信号処理することによって、暗視野像を得ることができる。明視野像と比較して、この暗視野像はアライメントマーク検出分解能は高いが、像の再現性が低い。回折角がアライメントマーク65の形状等に大きく依存するからである。図10に、基板に形成されたアライメントマーク65が観察されたときの第1及び第2の光検出器41、42からの信号出力を模式的に示した。明視野像及び暗視野像を組み合わせることによって、アライメントマーク65の位置を高い精度で検出することができる。

【0046】このように、潜像検出系用光源、消色用光源及びオフアクシス・アライメント検出系用の光源をレーザ光源10が兼ねることによって、従来の半導体露光装置において用いられているHe-Neレーザ等から成る独立したオフアクシス・アライメント検出系用光源が不要となり、あるいは独立した潜像検出系用光源や消色用光源が不要となり、半導体露光装置の製造コストや保守コストの低減を図ることができる。尚、レーザ光源10から射出される光は干渉性が強いので、オフアクシス・アライメント検出系のアライメントマーク検出分解能を向上させることができる。

【0047】（実施例2）実施例2は、実施例1の変形である。レーザ光源10を、レーザダイオード11、Nd:YAGから成る固体レーザ媒質12及び非線形光学結晶素子13から成るLD励起固体レーザから構成する点は、実施例1と同様である。実施例1においては、非線形光学結晶素子13から射出された光を、潜像検出系用光源及び消色用光源として用いた。これに対して、実施例2においては、図7に概念図を示すように、レーザダイオード11から射出された光を、潜像検出系用光源及び消色用光源として用いる。この点が実施例1と相違する。即ち、レーザ光源10を構成するレーザダイオード11から射出され、ビームスプリッターあるいはハーフミラー50を介して、ハーフミラー43、アライメント顕微鏡40を通過した光で、基板ステージ66上に配置されたフォトリソミック材料70を照射し、パターン潜像の光学的観察あるいは消色を行う。その他の半導体露光装置の構造及び多重結像露光法の最適化法は、実施例1と同様とすることができるので、詳細な説明は省略する。尚、レーザダイオード11から射出された光を、オフアクシス・アライメント検出系用の照明光として用いることもできる。

【0048】（実施例3）実施例3における投影光学系用光源は、実施例1あるいは実施例2と同様に、レーザ光源10、並びにこのレーザ光源から射出された光が入射されそしてこの入射光の第2高調波に基づいた波長を有する光を射出する第2高調波発生装置20から成る。実施例3が実施例1若しくは実施例2と相違する点は、



図8に概念図を示すように、(A)半導体露光装置が第2高調波発生装置から射出された光から長波長成分を有する光を分光するバンドパスフィルター80を備えている点、及び、(B)かかる長波長成分を有する光を、潜像検出系用光源及び消色用光源として用いる点にある。

【0049】第2高調波発生装置20から射出される光には、レーザ光源10から射出された光の波長(長波長成分)を有する光が混在している。実施例3においては、かかる長波長成分を有する光をバンドパスフィルター80によって分光する。そして、こうして得られた光を、フォトリソミック材料70に形成されたパターン潜像の観察用(コントラスト測定用)あるいは消色用として用いる。即ち、第2高調波発生装置20から射出され、バンドパスフィルター80を介して、ハーフミラー43、アライメント顕微鏡40を通過した光で、基板ステージ66上に配置されたフォトリソミック材料70を照射する。その他の半導体露光装置の構造及び多重結像露光法の最適化法は、実施例1と同様とすることができるので、詳細な説明は省略する。尚、バンドパスフィルター80によって得られた長波長成分を有する光を、オフアクシス・アライメント検出系用の照明光として用いることもできる。

【0050】以上、各実施例にて説明した投影光学系用光源としての使用に適したレーザ光源10及び第2高調波発生装置20を、図11、図12及び図13を参照して、以下、説明する。

【0051】図11に示すように、レーザ光源10は、レーザダイオード11、Nd:YAGから成る固体レーザ媒質12、非線形光学結晶素子13から構成された、第2高調波を射出し得るLD励起固体レーザから成る。また、第2高調波発生装置20は、非線形光学結晶素子21及び光共振器22から成る。第2高調波発生装置20には、光共振器22の共振器長を制御するための共振器長制御装置30が更に備えられている。

【0052】実施例1及び実施例2においては、レーザ光源10から射出された光は、光路分割手段50によって分割され、多重結像露光法の最適化法の実行時及びアライメント操作時にはオフアクシス・アライメント検出系に送られ、一方、レジスト露光時には、第2高調波発生装置20を構成する光共振器22に入射する。第2高調波発生装置20は、光共振器22に入射された光の第2高調波に基づいた波長を有する光(固体レーザ媒質が生成するレーザ光を基準とした場合、第4高調波)を射出する。実施例3においては、第2高調波発生装置20から射出された光は、バンドパスフィルター80によって分光され、多重結像露光法の最適化法の実行時及びアライメント操作時にはオフアクシス・アライメント検出系に送られ、一方、レジスト露光時には、レチクル61へと送られる。尚、図11には、実施例1での使用に適した投影光学系用光源を図示した。

【0053】図11に示すように、レーザ光源10は、例えば、複数のレーザダイオード11(射出光の波長:808nm)、Nd:YAGから成る固体レーザ媒質12(射出光の波長:1064nm)、及びKTP(KTiOPO<sub>4</sub>)から成る非線形光学結晶素子13から構成されている。固体レーザ媒質12は、端面励起方式である。このような構成により、レーザ光源10からは、Nd:YAGから成る固体レーザ媒質の第2高調波である532nmの光が射出される。レーザ光源10には、Nd:YAGから成る固体レーザ媒質12の前方に1/4波長板14が配置されている。これによって、レーザ光源において、所謂ホールバーニング効果による多モード発振を抑制することができる。

【0054】非線形光学結晶素子13は、平面鏡15及び凹面鏡16から成る光共振器の光路内に配置されており、所謂外部SHG方式(レーザ発振器の外部に構成した光共振器中に配置する方式)を構成する。平面鏡15は光の殆どを反射する。また、凹面鏡16はNd:YAGから成る固体レーザ媒質の第2高調波の殆どを透過し、その他の波長を有する光を殆ど反射する。凹面鏡16は、例えばダイクロイックミラーで構成することができる。

【0055】図11に示すように、第2高調波発生装置20は、例えばBBO( $\beta$ -BaB<sub>2</sub>O<sub>4</sub>)から成る非線形光学結晶素子21及び光共振器22から構成されている。第2高調波発生装置20を構成する非線形光学結晶素子21は、光共振器22の光路内に配置されている。即ち、第2高調波発生装置20は、所謂外部SHG方式である。この光共振器22においては、所謂フィネス値(共振のQ値に相当する)を例えば100~1000程度と大きくして、光共振器22内部の光密度を、光共振器22に入射される光の光密度の数百倍とすることによって、光共振器22内に配置された非線形光学結晶素子21の非線形効果を有効に利用することができる。

【0056】光共振器22は、一对の凹面鏡23、24及び一对の平面鏡25、26から構成されている。第2高調波発生装置20に入射した光(例えば、532nmの波長を有する光)は、第1の凹面鏡23を透過し、非線形光学結晶素子21を透過して少なくとも一部が第2高調波(例えば、波長266nmの光)にされた後、第2の凹面鏡24によって反射され、次に、平面鏡25、26によって反射され、更には、第1の凹面鏡23によって反射される。このような状態において、第2の凹面鏡24に入射した光(例えば、波長266nmの光)の少なくとも一部が第2の凹面鏡24を透過し、第2高調波発生装置20からレチクル61に向かって射出される。また、平面鏡26から第1の凹面鏡23へと入射した光の一部分(例えば、波長532nmの光)は、第1の凹面鏡23を透過し、後述する共振器長制御装置30へと入射する。尚、第1及び第2の凹面鏡23、24、

平面鏡 25、26は、以上の説明のように光を反射・透過させるように設計する。第2の凹面鏡 24は、例えばダイクロイックミラーで構成することができる。尚、実施例3での使用に適した光共振器 22においては、光共振器 22へ入射した光の一部を第2の凹面鏡 24から射出させ得る構造とする。

【0057】第2高調波発生装置 20から射出された光の波長は、第2高調波発生装置 20に入射する光を基準とすれば、かかる入射光の第2高調波である。即ち、第2高調波発生装置 20に入射する入射光の波長は532nmであり、第2高調波発生装置 20から射出する光は266nmである。尚、Nd:YAGから成る固体レーザー媒質 12から射出されるレーザー光の波長(1064nm)を基準とすれば、第2高調波発生装置 20から射出される光は第4高調波に相当する。第2高調波発生装置 20からは、波長266nmの狭帯域を有するレーザー光が連続的に射出され、かかる光のモード均一性は高い。尚、第2高調波発生装置 20から射出された光には、532nmの波長を有する光も混在する。

【0058】第2高調波発生装置 20には、更に、共振器長制御装置 30が備えられている。光共振器 22の共振器長(L)は、共振器長制御装置 30によって精密に制御され一定長に保持される。この光共振器 22の共振器長(L)を一定長に精密に保持することにより、第2高調波発生装置 20から射出される射出光の強度を一定に保持することができる。尚、共振器長(L)は、第1の凹面鏡 23、第2の凹面鏡 24、平面鏡 25、平面鏡 26、及び第1の凹面鏡 23のそれぞれの反射面を結んだ光路長に相当する。

【0059】第2高調波発生装置 20から射出される射出光(第2高調波発生装置 20に入射する入射光の第2高調波)の波長を $\lambda$ としたとき、光共振器 22の共振器長 $L_0$ が、 $\lambda = L_0 / N$ (但し、Nは正数)を満足するとき(ロック状態とも呼ぶ)、光共振器 22は共振し、第2高調波発生装置 20は高強度の光を安定に射出する。言い換えれば、光共振器 22における光路位相差 $\Delta$ が $2\pi$ の整数倍のとき、第2高調波発生装置 20を構成する光共振器 22は共振状態となる。即ち、ロック状態となる。ここで、非線形光学結晶素子 21の屈折率をn、厚さをlとしたとき、光路位相差 $\Delta$ は $(4\pi n l / \lambda)$ で表わすことができる。

【0060】また、光共振器 22の共振器長 $L_0 \pm \Delta L_0$ が、 $\lambda \neq (L_0 \pm \Delta L_0) / N'$ (但し、N'は正数)のとき(アンロック状態とも呼ぶ)、第2高調波発生装置 20は低強度の光を射出する。言い換えれば、光共振器 22における光路位相差 $\Delta$ が $2\pi$ の整数倍からずれたとき、第2高調波発生装置 20を構成する光共振器 22は非共振状態となる。即ち、アンロック状態となる。

【0061】従って、第2高調波発生装置 20から波長 $\lambda$ の光を安定に射出するためには、光共振器 22の共振

器長(L)の経時的な変動(具体的には、例えば、凹面鏡 23、24、平面鏡 25、26の位置の変動)を出来る限り小さくする必要がある。そこで、共振器長制御装置 30の制御によって、第1の凹面鏡 23と第2の凹面鏡 24とを結ぶ光軸上で、第1の凹面鏡 23を移動させたり、かかる光軸に対する第1の凹面鏡 23の配置角度を変化させ、光共振器 22の共振器長(L)の経時的な変動を抑制し、光共振器 22の共振器長(L)を一定に保持する。

【0062】共振器長制御装置 30は、本出願人が平成4年3月2日付で特許出願した「レーザー光発生装置」(特開平5-243661号)に詳述されている。

【0063】この形式の共振器長制御装置 30は、図11に示すように、フォトダイオード等の光検出器 31、ボイスコイルモータ(VCM) 32、ボイスコイルモータ制御回路(VCM制御回路) 33、位相変調器 34から構成される。位相変調器 34は、レーザー光源 10と第2高調波発生装置 20との間の光路内に配置されており、レーザー光源 10から射出された光を位相変調する所謂EO(電気光学)素子やAO(音響光学)素子から成る。位相変調器 34と第2高調波発生装置 20の間には、集光レンズ 35が配置されている。ボイスコイルモータ 32には、光共振器 22を構成する第1の凹面鏡 23が取り付けられている。

【0064】図12に模式図を示すように、ボイスコイルモータ 32は、磁性材料から成る基体 320、1つ以上の電磁石(所謂ボイスコイル) 322、磁性体から成るヨーク 323、及び少なくとも1つのコイルパネ(あるいは渦巻き状の板パネ) 321から構成された電磁アクチュエータである。コイルパネ 321は、その一端が基体 320に取り付けられ、そして他端がヨーク 323に取り付けられている。また、ヨーク 323には、第1の凹面鏡 23及び電磁石 322が取り付けられている。電磁石 322に電流を流すと、磁界が形成され、ヨーク 323と基体 320との間の距離が変化する。その結果、第1の凹面鏡 23の位置を移動させることができる。即ち、電磁石 322に流す電流を制御することによって、光共振器 22の共振器長(L)を変化させることができる。ボイスコイルモータ 32に対して、サーボ制御が行われる。

【0065】ボイスコイルモータ 32の駆動電流は数十〜数百mA程度である。従って、駆動回路構成を安価に作製することができる。しかも、サーボループの複共振の周波数を数十kHz〜100kHz以上とすることができ、位相回りの少ない周波数特性を有するため、サーボ帯域を数十MHzと広帯域化することができ、安定した制御を得ることができる。

【0066】光共振器 22がロック状態にあるとき、例えば第1の凹面鏡 23から射出され光検出器 31に到達する光の強度が極小となり、また、かかる光の位相が大

きく変化する。このような変化を利用して光共振器の制御を行うことが、例えば、R. W. P. Drever, et al. "Laser Phase and Frequency Stabilization Using an Optical Resonator", Applied Physics B31, 97-105 (1983)に開示されている。光共振器 22 のロック状態の制御は、基本的にはこの技術を応用している。

【0067】即ち、例えば第 1 の凹面鏡 23 を透過し、光検出器 31 に到達する光の強度が常に極小値（例えば 0）となるように、VCM 制御回路 33 によってボイスコイルモータ 32 を駆動して第 1 の凹面鏡 23 の位置を変化させれば、光共振器 22 のロック状態を安定して保持することができる。言い換えれば、レーザ光源 10 から射出された光を位相変調信号に基づき位相変調を施して、第 2 高調波発生装置 20 に入射させ、第 2 高調波発生装置 20 からの戻り光を光検出器 31 によって検出することで検出信号を得る。そして、かかる検出信号を、位相変調信号にて同期検波し、誤差信号を取り出す。この誤差信号が 0 となるように VCM 制御回路 33 によって、ボイスコイルモータ 32 を駆動して第 1 の凹面鏡 23 の位置を変化させる。

【0068】VCM 制御回路 33 は、図 13 に構成図を示すように、例えば、発振器 330、位相変調器駆動回路 331、同期検波回路 332、ローパスフィルタ 333、及びボイスコイルモータ駆動回路（VCM 駆動回路）334 から構成されている。

【0069】発振器 330 から出力された周波数  $f_m$ （例えば 10 MHz）の変調信号は、位相変調器駆動回路 331 を介して位相変調器 34 に送られる。位相変調器 34 においては、レーザ光源 10 から射出された光（周波数  $f_0$ 、 $10^{14}$  Hz オーダー）に位相変調が施され、周波数  $f_0 \pm f_m$  のサイドバンドが生成される。

【0070】光共振器 22 を構成する第 1 の凹面鏡 23 を通過して光共振器 22 の系外に射出された光（周波数： $f_0$  及び  $f_0 \pm f_m$ ）は、光検出器 31 によって検出される。このような周波数（ $f_0$  及び  $f_0 \pm f_m$ ）を有する光の間のビートを検出する FM サイドバンド法によって、極性を有する誤差信号を得ることができ、かかる誤差信号に基づき光共振器 22 の共振器長（L）を制御する。

【0071】即ち、この光検出器 31 から出力された信号は、同期検波回路 332 に送られる。この信号は、周波数  $f_0$  の光の強度信号と、周波数  $f_m$  の変調信号に対応する信号とが重畳された信号である。同期検波回路 332 には、発振器 330 から出力された変調信号も（必要に応じて波形整形や位相遅延等が施されて）供給される。光検出器 31 から出力された信号と変調信号とは同期検波回路 332 において乗算され、同期検波が行われる。同期検波回路 332 から出力された検波出力信号はローパスフィルタ 333 に入力され、ローパスフィルタ 333 においてこの検波出力信号から変調信号成分を除

去することで、光共振器 22 の共振器長の誤差信号が生成される。ここで、誤差信号とは、光共振器 22 の設定共振器長（ $L_0$ ）に対する測定共振器長（ $L_0 \pm \Delta L_0$ ）の差（ $\pm \Delta L_0$ ）を表わす信号である。

【0072】この誤差信号は VCM 駆動回路 334 に送られ、かかる誤差信号に基づきボイスコイルモータ 32 が駆動され（具体的には、電磁石 322 に流れる電流を制御し）、第 1 の凹面鏡 23 を透過しそして光検出器 31 に到達する光が極小値となるように（言い換えれば、光共振器 22 の共振器長が  $L_0$  となり、誤差信号が 0 となるように）、光共振器 22 の共振器長（L）が調整される。

【0073】光共振器 22 の共振器長（L）が  $L_0$  に設定されている場合（即ち、ロック状態においては）、共振器長制御装置 30 の制御によって、光共振器 22 の共振器長（L）の経時的な変動を、第 2 高調波発生装置 20 に入射する光の波長の  $1/1000 \sim 1/10000$  に抑えることができる。

【0074】以上、本発明を好ましい実施例に基づき説明したが、本発明はこれらの実施例に限定されるものではない。実施例にて説明した「パターン潜像形成工程-1」、[パターン潜像形成工程-2] 及び「パターン潜像のコントラスト測定工程」の順序を以下のように変更することも、本発明の多重結像露光法の最適化法に包含される。

- (1) 「パターン潜像形成工程-1」
- (2) 「パターン潜像のコントラスト測定工程」
- (3) 「パターン潜像形成工程-2」
- (4) 「パターン潜像のコントラスト測定工程」
- (5) 必要に応じて (3) 及び (4) の繰り返し

【0075】更には、「パターン潜像形成工程-1」にて説明したパターン潜像形成工程の実行の後、直ちに「パターン潜像のコントラスト測定工程」を行い、これらの操作を必要回数繰り返すことも、本発明の多重結像露光法の最適化法に包含される。

【0076】光ファイバを使用して、光路分割手段 50 やバンドパスフィルタ 80 からアライメント顕微鏡 40 を介さず、直接、フォトクロミック材料 70 へと光を伝達することができる。光路分割手段 50 は、ビームスプリッターやハーフミラー以外にも、光路を分割し得る如何なる手段とすることもできる。

【0077】本発明の半導体露光装置は、上述した実施例のような屈折系の光学系を用いた投影露光装置にのみ限定されるものでなく、例えば反射系の光学系を用いた半導体露光装置や近接露光装置にも応用することができる。

【0078】フォトクロミック材料は、スピロピラン以外にも、各種有機系フォトクロミック材料あるいは無機系フォトクロミック材料を用いることができる。有機系フォトクロミック材料として、光酸化還元（メチレンブ

ル+Fe<sup>2+</sup>)、光解離反応による遊離基の生成(βテトラクロロ-1-ケトジヒドロナフタレン)、分子内水素移動に伴う互変異性化(サリチリデンアニリン)、シストランス光異性化(アゾベンゼン)、光重合(アントラセン)等の反応形態によるフォトクロミック材料を例示することができる。また、無機系フォトクロミック

物質                      ドーパント

SrTiO <sub>3</sub>	Fe/Mo, Ni/Mo
CaTiO <sub>3</sub>	Fe, Zn, Sb, V, Ni/Mo
TiO <sub>2</sub>	Fe, Cr, Cu, Na, Mn
BaTiO <sub>3</sub>	Fe, Zn, Sb, V
CaWO <sub>4</sub>	Bi
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Fe
SnO <sub>2</sub>	Cu
CaF <sub>2</sub>	Ce, Gd, Tb, La
CaF <sub>2</sub>	Eu/Sm
BaF <sub>2</sub>	Eu/Sm
ケイ酸塩ガラス	Eu, Ce, Zr
ケイ酸塩ガラス	AgBr, AgCl
AgI・HgI <sub>2</sub>	—

【0079】投影光学系用光源を構成するレーザ光源10、第2高調波発生装置20及び共振器長制御装置30の構造は例示であり、適宜設計変更することができる。他の形式の投影光学系用光源を用いることもできる。潜像検出系や消色用光源を投影光学系用光源とは独立して設けてもよい。

【0080】レーザ光源10、第2高調波発生装置20及び共振器長制御装置30から投影光学系用光源を構成する場合、固体レーザ媒質は、Nd:YAG以外にも、Nd:YVO<sub>4</sub>、Nd:BEL、LNP等から構成することができる。レーザダイオードによる固体レーザ媒質の励起方式も、端面励起方式だけでなく、側面励起方式や表面励起方式とすることができ、更にはスラブ固体レーザを用いることもできる。また、非線形光学結晶素子として、KTPやBBOの他にも、LN、QPM、LN、LBO、KN等、入射光や射出光に要求される光の波長に依存して適宜選定することができる。

【0081】一対の反射鏡から成る光共振器の光路内に固体レーザ媒質と非線形光学結晶素子が配置された、所謂内部SHG方式のレーザ光源を用いることもできる。また、固体レーザ媒質12からの射出光を非線形光学結晶素子13に通すような構造(即ち、平面鏡15及び凹面鏡16から成る光共振器を省略する構造)とすることもできる。更には、レーザ光源として、LD励起固体レーザの代わりに、例えば青色半導体レーザを使用し、かかる半導体レーザの射出光を第2高調波発生装置に直接入射させることもできるし、かかる半導体レーザと非線形光学結晶素子とを組み合わせた所謂内部SHG方式から成るレーザ光源と第2高調波発生装置との組み合わせ構造とすることもできる。また、平面鏡15及び凹面鏡

材料として、SrTiO<sub>3</sub>などの酸化物に遷移金属元素をドーブしたもの、CaF<sub>2</sub>などのフッ化物に稀土類元素をドーブしたもの、ケイ酸塩ガラスなどのガラスに銀ハライドを分散させたものを用いることができる。以下に、物質とドーパントを例示する。

16から成る光共振器の共振器長の制御のために、共振器長制御装置30を別途設けることもできる。

【0082】第2高調波発生装置20における光共振器22の構造を、例えば、凹面鏡と平面鏡から構成されたファブリーペロー型共振器とすることもできる。この場合、第2高調波発生装置20に入射する入射光を透過し、そして第2高調波発生装置20からの戻り光を反射する反射鏡を、第2高調波発生装置20の手前に配置し、かかる反射鏡で反射された光を光検出器31で検出すればよい。光共振器22の共振器長を変えるためには、第1の凹面鏡23を移動させるだけでなく、他の鏡を移動させてもよい。

【0083】共振器長制御装置30の別の態様として、PZT等から成る共振器長制御装置を挙げることができる。即ち、光共振器22を構成する第1の凹面鏡23を移動させるために、PZT等から成る積層圧電素子及び共振器長(L)の長さ変化に比例した信号をこの積層圧電素子に供給する制御装置から成る共振器長制御装置を用い、かかる信号をフィードバックしてサーボループを構成する。これによって、光共振器22の共振器長の制御を行い、第2高調波発生装置20から射出される射出光の強度制御を行うこともできる。

【0084】第2高調波発生装置から射出される光は、レーザ光源からの入射光の第2高調波に基づいた波長を主に有する光であるが、この第2高調波発生装置から射出される光の波長は、実施例にて説明したように、固体レーザ媒質の射出する光を基準とした第4高調波だけでなく、第5高調波とすることもできる。この場合には、例えばNd:YAGから成る固体レーザ媒質から射出される光(波長:1064nm)と、第2高調波発生装置

20から射出される光（波長：266nm）とを合成して、再び別の第2高調波発生装置20（例えば、非線形光学結晶素子として有機結晶の urea  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$  を用いる）を通すことによって、Nd:YAGから成る固体レーザ媒質の第5高調波（波長：213nm）を生成することができる。

【0085】基板としては、シリコン半導体基板や、GaAs等の化合物半導体基板、TFT等を形成するためのガラス基板等を例示することができる。

【0086】

【発明の効果】本発明の多重結像露光法の最適化法により、レチクルの交換等によってレジストに形成すべきパターンサイズ及びパターン密度が変化した場合でも、従来技術のような時間、労力、費用を費やすことなく、容易に短時間で多重結像露光法におけるFLEXステップΔZの最適化を図ることができる。また、パターン潜像が形成されたフォトリソミック材料を消色することによって、多重結像露光法の最適化法を繰り返し実行することができる。更には、本発明の半導体露光装置の好ましい態様においては、投影光学系用光源が潜像検出系の光源や消色用光源を兼ねているので、半導体露光装置の構造を簡素化することができ、半導体露光装置のコストアップや保守のために多くの費用を必要とすることがない。

【図面の簡単な説明】

【図1】実施例1の半導体露光装置の概念図であり、多重結像露光法の最適化法における潜像形成工程を示す図である。

【図2】実施例1の半導体露光装置の概念図であり、多重結像露光法の最適化法における潜像のコントラスト測定工程を示す図である。

【図3】実施例1の半導体露光装置の概念図であり、多重結像露光法の最適化法における潜像消色工程を示す図である。

【図4】フォトリソミック材料の光吸収曲線の変化を模式的に示す図である。

【図5】種々のΔZにおけるコントラストカーブを模式的に示す図である。

【図6】多重結像露光法の最適化法の工程のフロー図である。

【図7】実施例2の半導体露光装置の概念図であり、多重結像露光法の最適化法における潜像のコントラスト測定工程を示す図である。

【図8】実施例3の半導体露光装置の概念図であり、多重結像露光法の最適化法における潜像のコントラスト測定工程を示す図である。

【図9】レジスト露光工程を説明するための半導体露光装置の概念図である。

【図10】オフアクシス・アライメント方式によるアライメント操作を説明するための半導体露光装置の概念図

である。

【図11】レーザ光源、第2高調波発生装置及び共振器長制御装置の模式図である。

【図12】ボイスコイルモータの模式図である。

【図13】共振器長制御装置を構成するVCM制御回路の構成図である。

【図14】多重結像露光法によって得られるレジストの厚さ方向の光強度分布を模式的に示す図である。

【図15】多重結像露光法によって得られるレジストの厚さ方向の光強度分布を模式的に示す図である。

【図16】FLEXステップΔZを変化させて露光したときのベストフォーカスからの距離のずれと露光パターンサイズの関係を示す図である。

【図17】FLEXステップΔZを変化させて露光したときのベストフォーカスからの距離のずれと露光パターンサイズの関係を示す図である。

【図18】FLEXステップΔZを変化させて露光したときのベストフォーカスからの距離のずれと露光パターンサイズの関係を示す図である。

【符号の説明】

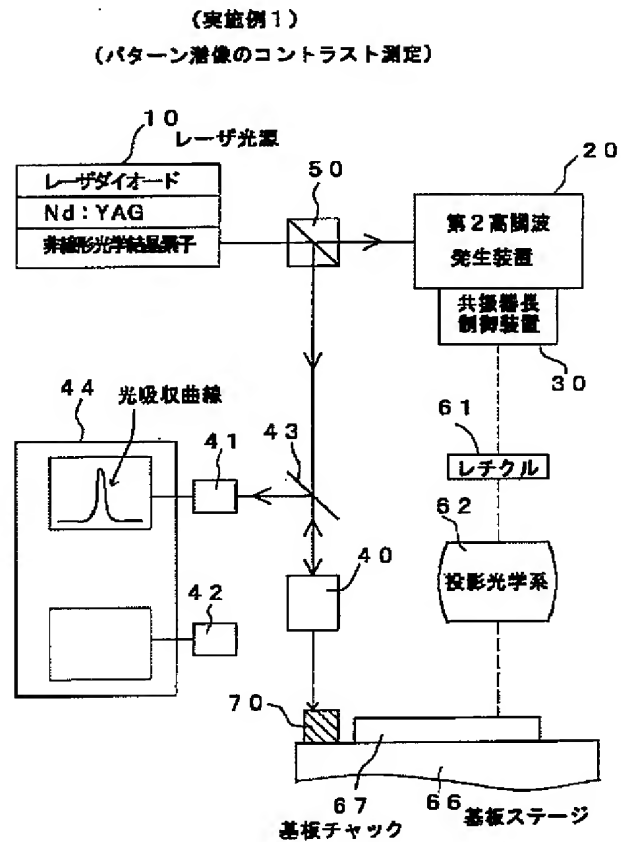
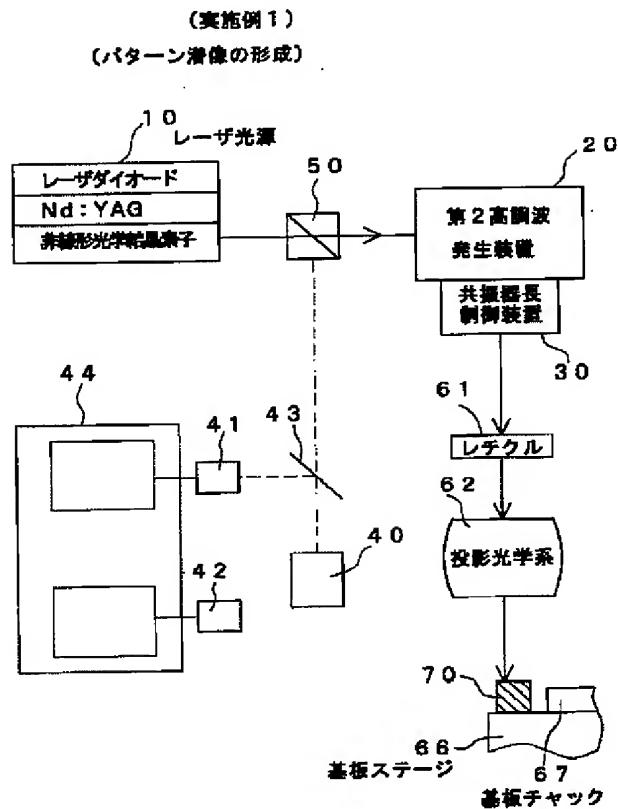
- 10 レーザ光源
- 11 レーザダイオード
- 12 固体レーザ媒質
- 13 非線形光学結晶素子
- 14 1/4波長板
- 15 平面鏡
- 16 凹面鏡
- 20 第2高調波発生装置
- 21 非線形光学結晶素子
- 22 光共振器
- 23 第1の凹面鏡
- 24 第2の凹面鏡
- 25, 26 平面鏡
- 30 共振器長制御装置
- 31 光検出器
- 32 ボイスコイルモータ
- 320 基体
- 321 コイルバネ
- 322 電磁石
- 323 ヨーク
- 33 VCM制御回路
- 330 発振機
- 331 位相変調器駆動回路
- 332 同期検波回路
- 333 ローパスフィルタ
- 334 VCM駆動回路
- 34 位相変調器
- 35 集光レンズ
- 40 アライメント顕微鏡
- 41, 42 光検出器

43, 71 ハーフミラー  
 44 信号処理装置  
 50 光路分割手段  
 61 レチクル  
 62 投影光学系  
 63 レジスト

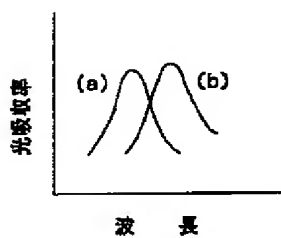
64 基板  
 65 アライメントマーク  
 66 基板ステージ  
 67 基板チャック  
 70 フォトリソミック材料  
 80 バンドパスフィルター

【図1】

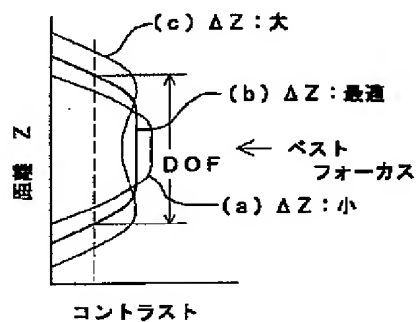
【図2】



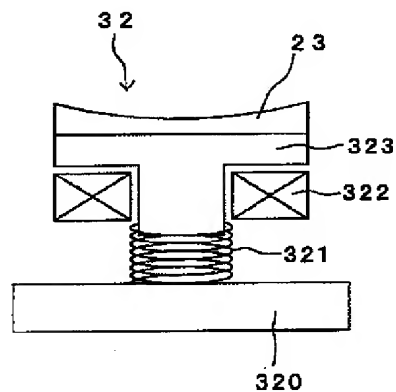
【図4】



【図5】

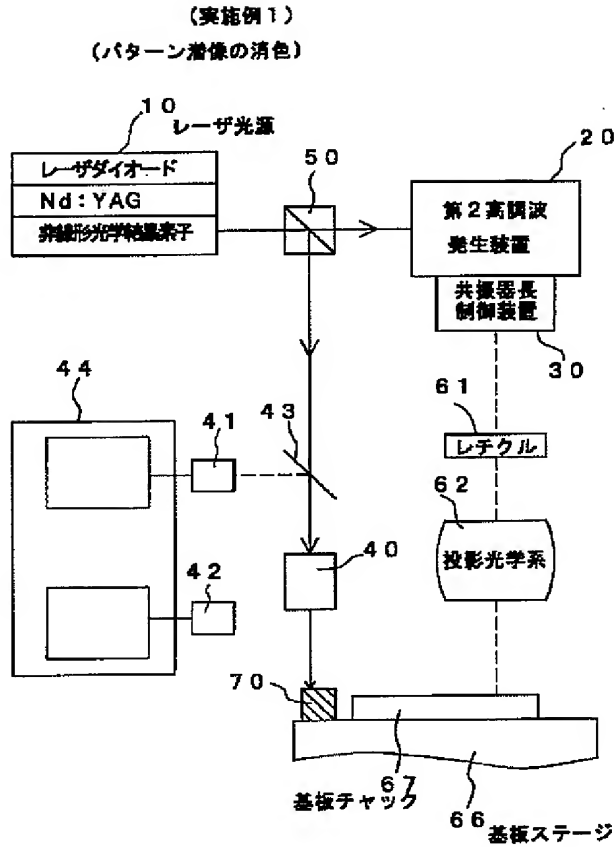


【図12】

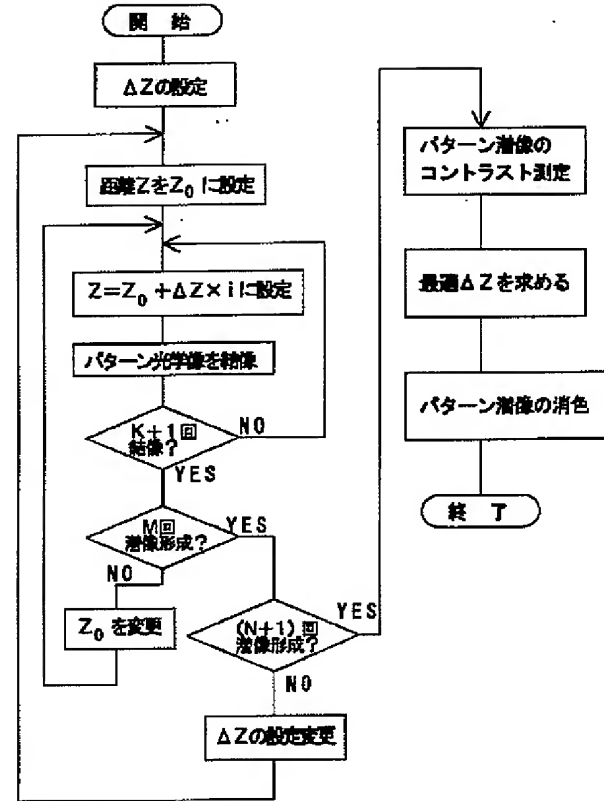




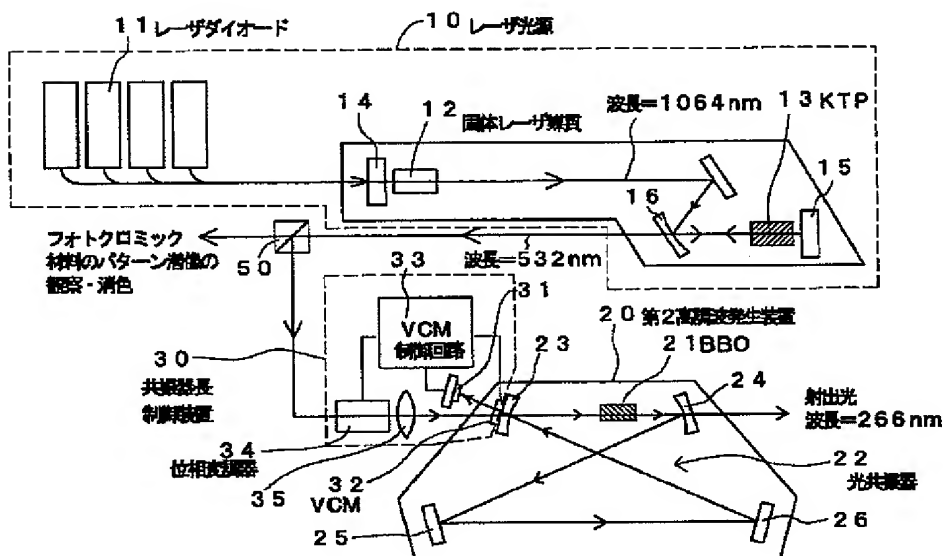
【図3】



【図6】

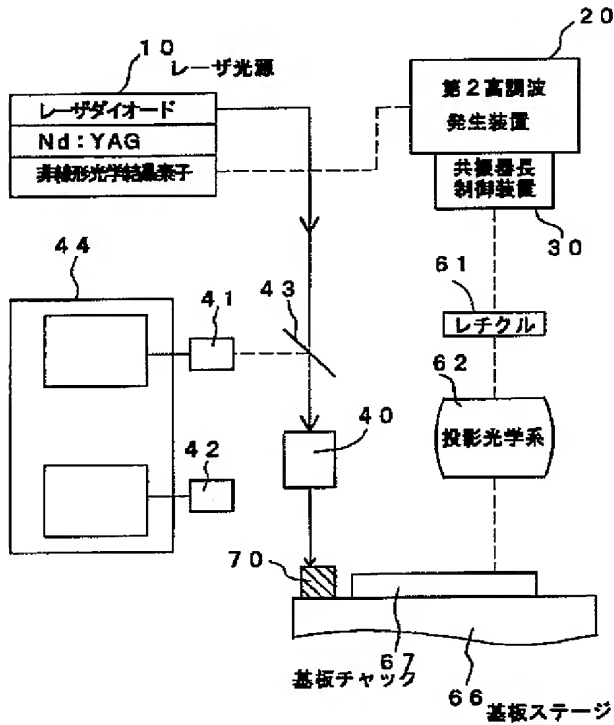


【図11】



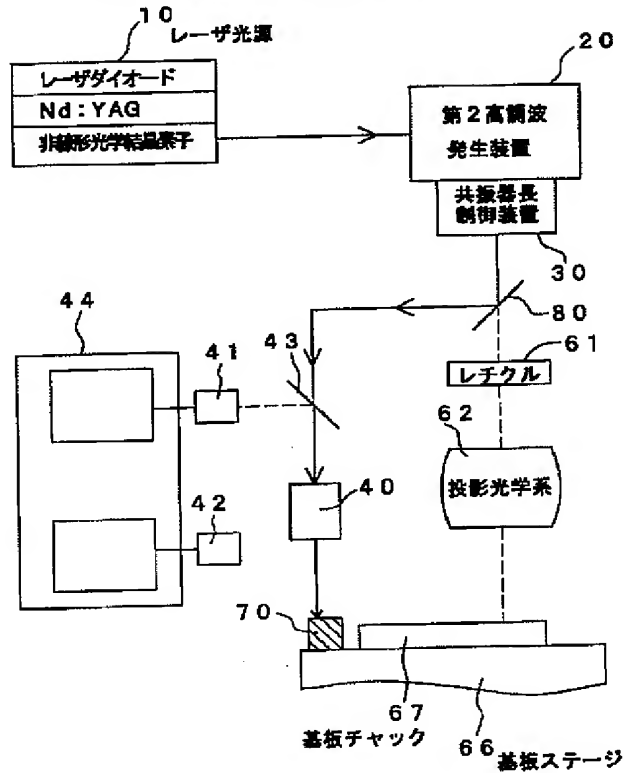
【図 7】

(実施例 2)  
(パターン潜像のコントラスト測定)

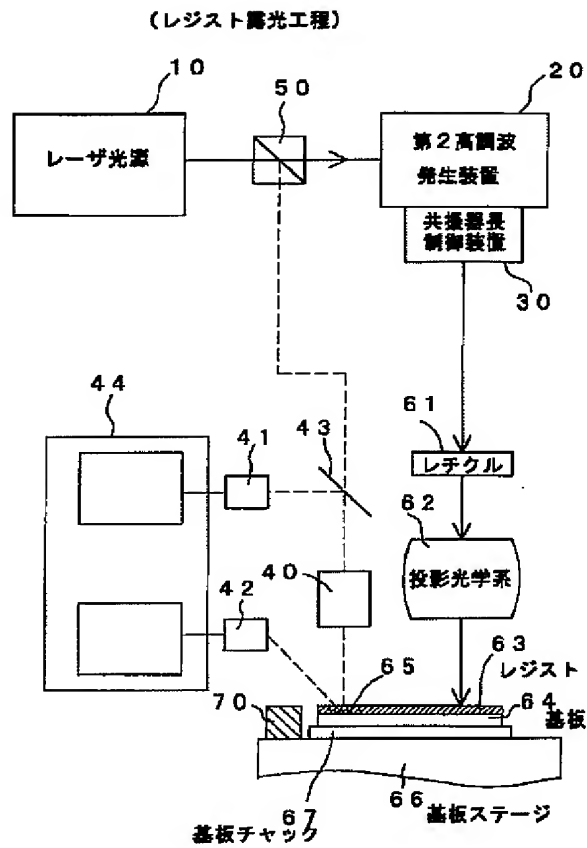


【図 8】

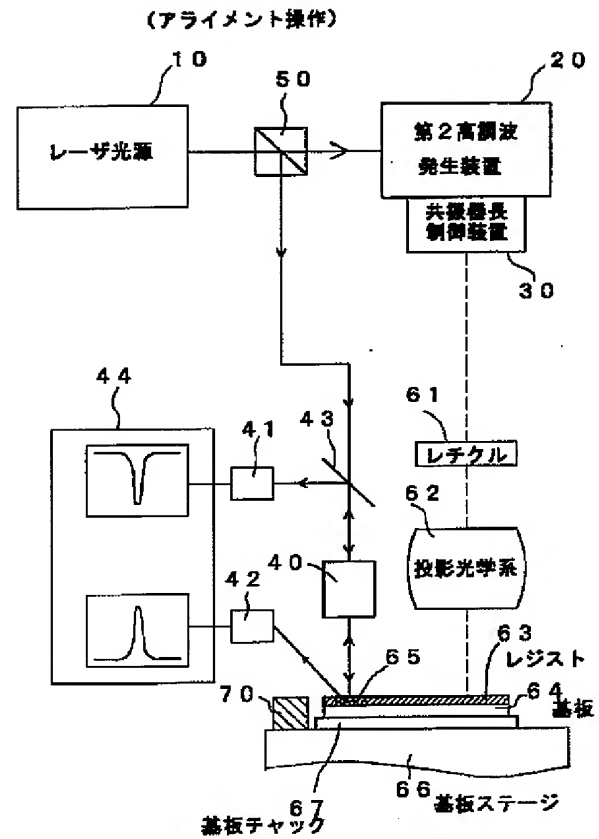
(実施例 3)  
(パターン潜像のコントラスト測定)



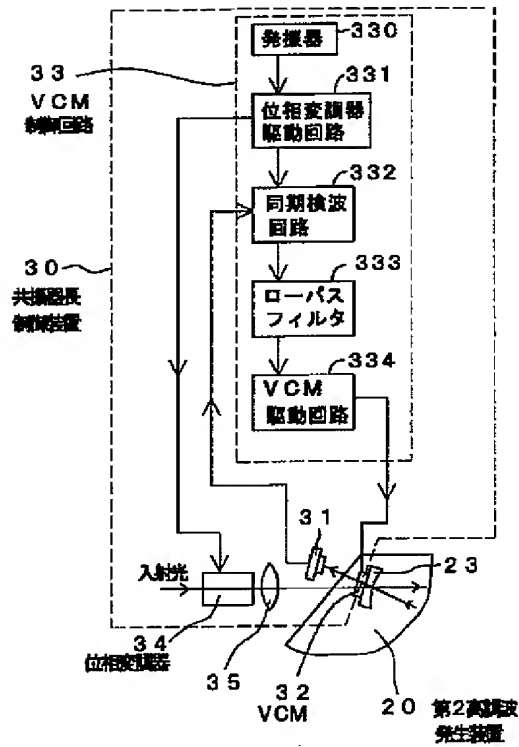
【図9】



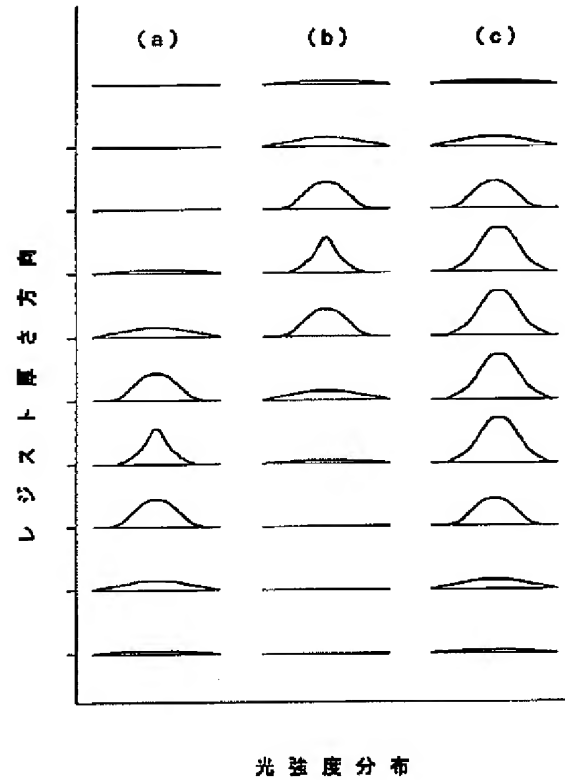
【図10】



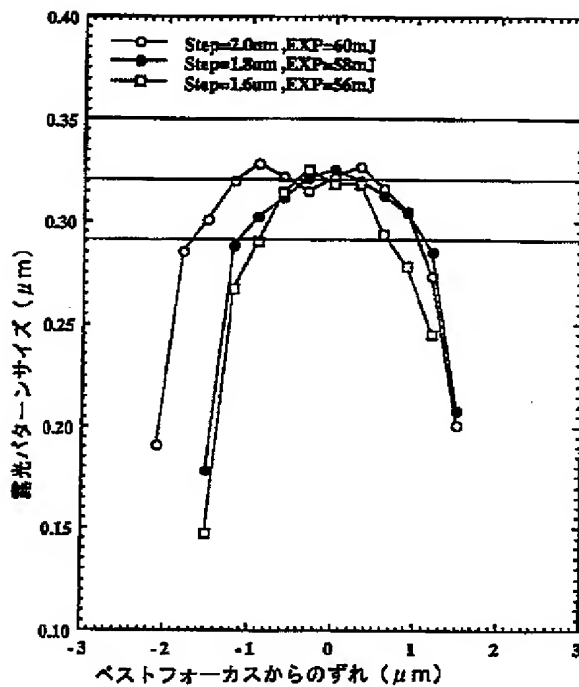
【図13】



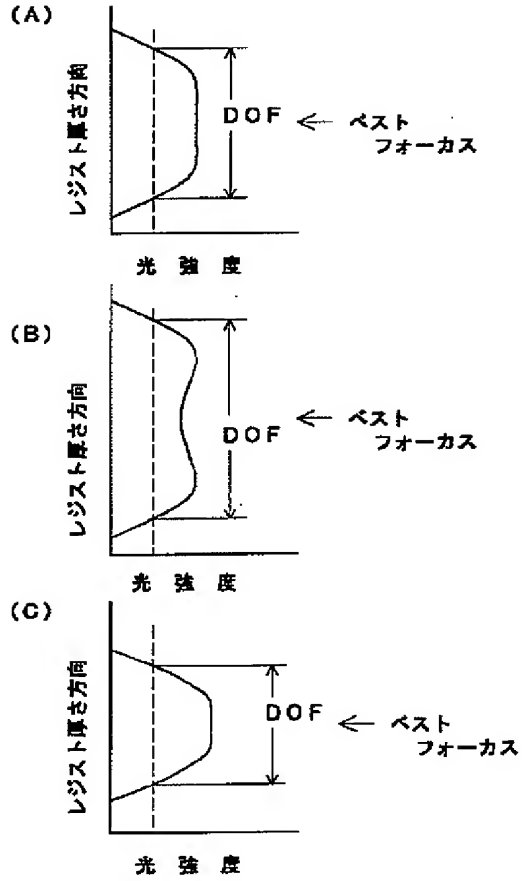
【図14】



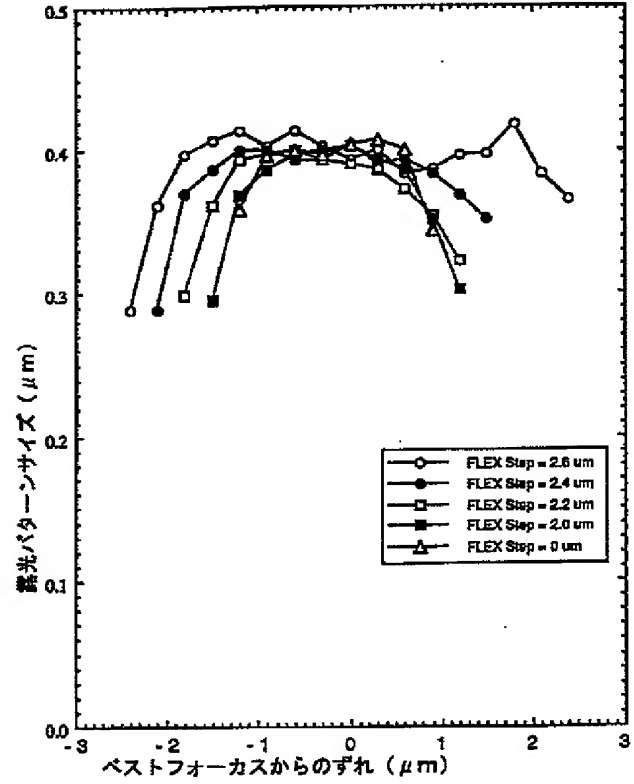
【図17】



【図 15】



【図 16】



【図18】

